[1]全混合日粮饲喂泌乳奶牛群摄入养分偏离的原因分析及对生产性能的影响

李继伟　林雪彦　王　云　胡志勇　刘桂梅　吴志强　王中华*

（山东农业大学动物科技学院，泰安 271018）

摘　要：本试验旨在研究全混合日粮（TMR）饲喂泌乳奶牛群摄入养分偏离的原因分析及对生产性能的影响。选取 30 个高产牛群，每个牛群采样 5 d。采取牛群 TMR 及剩料样品，进行养分分析和颗粒分级评定，计算各指标的变异系数。记录产奶量，取奶样测乳成分。多元线性回归分析养分、颗粒的变异系数与牛群生产性能的关系。结果表明：30 个牛群饲喂的 TMR 产奶净能（NE_L）和粗蛋白质（CP）、中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF）、微生物蛋白质（MCP）、瘤胃非降解蛋白质（RUP）、瘤胃能氮平衡（RENB）、小肠可消化粗蛋白质（DCPSI）、钙（Ca）含量分别为 6.56 MJ/kg 和 16.22%、35.71%、21.38%、77.84 g/kg、92.15 g/kg、14.77 g/kg、104.04 g/kg、1.43%，其中高于配方目标的指标有 NDF（1.94%）、Ca（0.57%）、RUP（5.03 g/kg）、RENB（6.95 g/kg），低于配方目标的指标有 CP（-0.36%）、ADF（-1.54%）、NE_L（-0.12 MJ/kg）、MCP（-7.71 g/kg）、DCPSI（-2.12 g/kg）（正值表示提高，负值表示降低）。观测期内，RUP[（16.26±7.10）%]、MCP[(22.78±13.38)%]、RENB[(64.29±34.29)%]3 种养分的变异系数大于 10%，其他养分的变异系数均小于 10%。长、中、短、细 4 类颗粒含量的变异系数分别为(15.78±9.25)%、(9.12±7.86)%、(6.00±4.00)%、(11.15±9.62)%。回归分析表明，TMR 养分和颗粒度变异影响产奶量和乳成分，NE_L 变异系数每升高 1 个百分点，产奶量下降 3.662 kg/d；长颗粒变异系数每升高 1 个百分点，产奶量下降 0.124 kg/d，乳脂率升高 0.012%。结果提示，TMR 饲喂泌乳奶牛摄入养分因投料不准确、加工质量不稳定、搅拌不均匀、挑食等与配方养分产生差异。TMR 加工质量稳定性影响到产奶量和乳成分，其中 NE_L、DCPSI、RENB 的变异影响产奶量，长颗粒变异影响产奶量和乳脂率。

收稿日期：2015-11-04

基金项目：国家现代农业（奶业）产业技术体系（CARS-37）；山东省牛产业技术体系（SDAIT-12-011-06）

作者简介：李继伟（1990-），男，山东安丘人，硕士研究生，从事反刍动物营养生理研究。E-mail: 15275385269@163.com

*通信作者：王中华，教授，博士生导师，E-mail: zhwang@sdau.edu.cn

关键词：全混合日粮；摄入养分偏离；挑食；混合均匀度；生产性能
中图分类号：S823

目前，我国大中型奶牛场基本都已采用全混合日粮（TMR）饲喂技术。TMR 能够为瘤胃微生物提供稳定、均衡的养分，优化瘤胃机能，提高养分利用效率[1]。养分均衡摄入是实现 TMR 最佳饲喂效果和生产性能最大化的前提。但是国内实际应用 TMR 技术时，存在饲粮配制不准确，养分摄入不均衡等诸多问题，这会影响奶牛的健康和生产性能，包括真胃异位和产奶量波动等[2]。Leonardi 等[3]报道，挑食使牛群摄入养分与 TMR 不一致，加大瘤胃 pH 波动，影响纤维的采食和降解。Sova 等[4]对加拿大安大略地区 22 个奶牛场的研究发现，几乎所有奶牛场的 TMR 和配方之间养分都存在差距（准确性），每天的 TMR 养分存在动态变化（精确性），TMR 饲喂的准确性和精确性会影响牛群的生产性能。McBeth 等[5]报道，饲粮干物质（DM）含量短期的变化会对干物质采食量（DMI）和产奶量产生影响。Mikus[6]指出，TMR 养分均匀性会受到原料变化、搅拌设备故障、原料添加顺序等多方面影响，TMR 养分不均匀会降低牛群的产奶效率和整体效益。因此，我们应该采取措施降低饲粮的变异、定期进行原料分析、提高每天配料的准确性、加强配料工人的管理教育，以期保证牛群的健康和最佳盈利。

尽管 TMR 投料不准确、搅拌不均匀、奶牛挑食会对整个牛群的产奶性能和健康产生不利影响，但是未引起国内奶牛饲养管理者的重视。因此本试验通过测定 30 个奶牛群配方和 TMR 的养分差别、TMR 变异、TMR 均匀性、牛群挑食，获得科学权威的数据，为奶牛 TMR 饲养管理体系的建立奠定基础，期望对国内奶牛饲养有一定的指导意义。

1 材料与方法

1.1 牛场选择

选择山东省内 15 家奶牛场，每家牛场选择配方不同的 2 个高产奶牛群，共计 30 个奶牛群。奶牛场基本要求：荷斯坦奶牛，存栏 500 头以上，TMR 分群饲喂管理。不同采样奶牛群的饲粮组成及营养水平相近。奶牛场产奶牛总数平均值为（595±209）头；采样群奶牛数头、胎次和产奶量平均值分别为和（98±38）头、（2.03±0.77）和（25.04±3.76） kg/d。试验时间为 2014 年 8 月至 2014 年 11 月。

1.2 样品采集和制备

每个采样群选择 5 d 采样，每天记录牛群投料量和剩料量，同时取新投料和剩料样品。为保证样品均匀性，新投料采样时在料槽上均匀选择 10 个点，剩料采样时把剩料扫成一堆，在料堆上选取 10 个点。如果每天饲喂多次，分别称重和采样，实验室分析时混合均匀。样品一式两份（一份用于养分分析，另一份用于颗粒分级），-20 ℃冷冻保存。牛群投料量通过 TMR 搅拌车初始重减投料后的重量计算，剩料量用地磅称量。记录牛群产奶量，同时取奶样，-20 ℃冷冻保存，测定乳成分。

用于颗粒分级的样品解冻后，用 3 层宾州筛(PSPS)，筛分为 4 部分：长(>19 mm)、中[(>8)~19 mm]、短[(>1.18)~8 mm]、细(≤1.18 mm)。65 ℃烘干后称重，颗粒大小分布为各层 DM 重占总重之百分比。分级后的各部分样品用于养分分析，65 ℃烘至恒重，测定初水分，风干样过 40 目筛粉碎测定 DM、粗蛋白质（CP）、粗灰分（ash）、钙（Ca）、磷（P）、总能（GE），过 18 目筛粉碎测定中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF），过 7 目筛粉碎测定蛋白质降解率。

1.3　测定指标和方法

饲料 DM、NDF、OM 和 ash 含量按有关国家标准测定，ADF 含量按行业标准测定（NY/T 1459-2007），凯氏法测定 CP（GB/T 6432-94），瘤胃尼龙袋法测定蛋白质降解率，氧弹测热计测定 GE（6200,PARR 公司），近红外法测定乳成分（乳成分分析仪，78110,FOSS 公司）。

1.4　计算公式

产奶净能（NE_L）=GE×［94.280 8－61.573 0（NDF/OM）］×0.550 1－0.395 8[7]；

瘤胃可发酵有机物（FOM）=［92.8945－74.7568（NDF/OM）］×OM[7]；

瘤胃降解蛋白质（RDP）=CP×蛋白质降解率；

瘤胃非降解蛋白质（RUP）=CP×（1－蛋白质降解率）；

微生物蛋白质（MCP）=RDP×0.9[7]；

小肠可消化粗蛋白质（DCPSI）=MCP×0.7＋RUP×0.65[7]；

瘤胃能氮平衡（RENB）=FOM×136－RDP×0.9[7]；

TMR 实测值和配方目标值的差值=TMR 实测值－配方目标值；

TMR 养分实测值与配方目标值的变异系数(%)＝100×配方目标值和 TMR 实测值的标准差/配方目标值和 TMR 实测值的平均值；

剩料率=（剩料 DM 重/投料 DM 重）×100；

物理有效系数（pef）＝宾州筛上 2 层（>8 mm）以上 DM 重/总 DM 重[4]；

物理有效 NDF（peNDF）=NDF×pef[4]；

TMR 测定指标变异系数（%）＝100×TMR 测定指标 5 d 的标准差/该测定指标 5 d 的平均值；

某颗粒部分的挑食（%）＝[（投料 DM 重×该颗粒部分在投料中的比例－剩料 DM 重×该颗粒部分在剩料中的比例）/（牛群 DM 采食量×该颗粒部分在投料中的比例）]×100[4]。

1.5　统计分析

数据基本处理用 Excel 2007 软件进行，结果采用 SAS 8.2 的 Stepwise selection 模型进行多元线性逐步回归分析，模型如下：

$$Y=\beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2+\cdot\cdot\cdot+\beta_pX_p。$$

式中：Y 为产奶量（kg/d）或乳脂率(%)；X 为各指标变异系数（%）；β_0 为截距；β 为各指标的回归系数，即 X 每上升 1 个百分点 Y 增加的数值。

2　结果与分析

2.1　投料控制

由表 1 可知，30 个牛群 TMR 实测值与配方目标值之间存在较大差距，除 DM（4.89%）、CP（3.32%）、NE_L（3.38%）、DCPSI（3.29%）之外，其他指标 TMR 实测值与配方目标值的变异系数都大于 5%，变异系数较大的为 Ca（37.89%）、MCP（15.98%）和 RDP(15.98%)。TMR 实测值高于配方目标值的有 NDF（1.94%）、ash（0.40%）、Ca（0.57%）、RUP（5.03 g/kg）、RENB（6.95 g/kg），低于配方目标值的有 DM（-3.38%）、CP(-0.36%)、ADF(-1.54%)、NE_L(-0.12 MJ/kg)、RDP（-8.57 g/kg）、MCP(-7.71 g/kg)、DCPSI(-2.12 g/kg)（正值表示提高，负值表示降低）。不同奶牛场，TMR 测定指标和配方目标差距差别很大。

由表 2 可知，5 d 连续观测期内，TMR 剩料率、长颗粒百分比、中颗粒百分比、短颗粒百分比、细颗粒百分比、pef、peNDF 变异系数都大于 5%。由表 3 可知，30 个牛群 TMR RDP、RUP、MCP、RENB 的变异系数大于 15%，其他养分的变异系数都小于 10%。由表 4 可知，30 个牛群产奶量为（25.04±3.76） kg/d，乳脂率为（3.84±0.15）%。

将表 2、表 3、表 4 数据进行回归分析，结果见表 5。从中可知，产奶量与剩料率（P=0.005 8）、NE_L（P=0.002 6）、长颗粒（P=0.024 5）、DCPSI（P=0.029 6）、RENB 变异系数（P=0.007

3）显著相关。NE_L 变异系数每上升 1 个百分点，产奶量下降 3.662 kg/d。DCPSI 变异系数每上升 1 个百分点，牛群产奶量下降 1.051 kg/d。RENB 变异系数每上升 1 个百分点，牛群产奶量下降 0.827 kg/d。长颗粒变异系数每上升 1 个百分点，牛群产奶量下降 0.124 kg/d。剩料率变异系数每上升 1 个百分点，牛群产奶量上升 0.047 kg/d。牛群乳脂率与长颗粒变异系数（P=0.012 7）和 RUP 变异系数（P=0.044 6）有关，长颗粒变异系数每上升 1 个百分点，牛群乳脂率升高 0.012%。RUP 变异系数每上升 1 个百分点，牛群乳脂率升高 0.011%。

表 1　30 个牛群 TMR 实测值和配方目标值的差异（干物质基础）

Table 1　Difference between TMR measured value and formula target value of 30 cow herds (DM basis)

项目 Items	TMR 实测值 TMR measured value	配方目标值 Formula target value	差值 Difference			变异系数 CV/%		
			平均值 Mean	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Mean	最小值 Minimum	最大值 Maximum
干物质 DM/%	48.72±3.55	52.10±4.62	-3.38±3.33	-10.79	0.73	4.89±4.32	0.18	14.27
粗蛋白质 CP/%	16.22±1.59	16.58±1.46	-0.36±0.89	-2.01	0.82	3.32±2.65	0.70	9.12
中性洗涤纤维 NDF/%	35.71±7.84	33.77±5.02	1.94±6.71	-6.32	13.82	9.00±5.94	2.12	19.38
酸性洗涤纤维 ADF/%	21.38±2.60	22.92±2.36	-1.54±1.47	-4.87	0.55	5.23±4.80	0.45	16.66
粗灰分 Ash/%	8.28±1.36	7.88±1.51	0.40±1.60	-1.86	4.28	9.13±11.2	0.45	37.20
钙 Ca/%	1.43±0.70	0.86±0.23	0.57±0.71	-0.59	1.86	37.89±26.	2.14	85.22
磷 P/%	0.42±0.07	0.43±0.09	0.00±0.09	-0.18	0.20	11.98±11.	0.57	32.18
产奶净能 NE_L/(MJ/kg)	6.56±0.50	6.68±0.37	-0.12±0.39	-0.98	0.36	3.38±3.15	0.02	11.40
瘤胃降解蛋白质 RDP/(g/kg）	70.07±15.35	78.64±13.98	-8.57±16.37	-26.17	21.92	15.98±10.	1.69	38.28
瘤胃非降解蛋白质 RUP/(g/kg）	92.15±8.21	87.11±15.53	5.03±12.68	-25.31	26.37	9.18±7.08	0.82	25.18
微生物蛋白质 MCP/(g/kg）	63.06±13.81	70.77±12.59	-7.71±14.74	-23.55	19.73	15.98±10.	1.69	38.28
小肠可消化粗蛋白质 DCPSI/(g/kg）	104.04±10.10	106.16±9.41	-2.12±5.76	-12.55	4.98	3.29±2.53	0.86	8.89
瘤胃能氮平衡 RENB/(g/kg）	14.77±17.39	7.82±11.99	6.95±19.60	-29.38	28.11			

表 2　30 个牛群 TMR 颗粒分布和变异系数

Table 2　Distribution and variability of particles in TMR of 30 cow herds　　%

项目 Items	TMR 实测值 TMR measured values	变异系数 CV		
		平均值 Mean	最小值 Minimum	最大值 Maximum
剩料率 Refusal rate	4.08±3.88	53.60±32.80	8.65	111.07
长颗粒 Long particles	18.67±6.39	15.78±9.25	6.21	33.27
中颗粒 Medium particles	25.30±4.56	9.12±7.86	1.72	32.40
短颗粒 Short particles	33.34±5.67	6.00±4.00	2.45	18.00
细颗粒 Fine particles	22.68±5.67	11.15±9.62	1.22	28.77
物理有效系数 pef	43.97±6.15	7.53±6.31	1.07	24.44
物理有效 NDF peNDF	18.73±4.51	7.93±7.62	1.27	29.42

表 3　30 个牛群 TMR 养分实测值变异系数（干物质基础）

Table 3　CV of measured values of TMR nutrients in of 30 cow herds (DM basis)　　%

项目 Items	变异系数 CV		
	平均值 Mean	最小值 Minimum	最大值 Maximum
粗蛋白质 CP	2.94±1.51	0.14	5.22
中性洗涤纤维 NDF	3.22±2.24	0.14	7.44
酸性洗涤纤维 ADF	4.67±2.98	0.44	11.31
粗灰分 Ash	4.07±3.48	0.35	11.69
钙 Ca	6.40±3.81	2.11	17.72
磷 P	7.29±6.94	1.38	23.23
产奶净能 NE_L	2.09±1.05	0.67	4.61
瘤胃降解蛋白质 RDP	22.78±13.38	7.28	58.20
瘤胃非降解蛋白质 RUP	16.26±7.10	4.28	30.30
微生物蛋白质 MCP	22.78±13.38	7.28	58.20
能氮平衡 RENB	64.29±34.29	8.12	132.85
小肠可消化粗蛋白质 DCPSI	2.92±1.46	0.01	5.28

表 4　30 个牛群的生产性能数据

Table 4　Production performance data of 30 cow herds

项目 Items	平均值 Mean	最小值 Minimum	最大值 Maximum
干物质采食量 DMI/（kg/d）	22.44±2.06	19.62	26.95
产奶量 Milk yield/（kg/d）	25.04±3.76	17.21	28.26
乳脂率 Milk fat percentage/%	3.84±0.15	3.59	4.10
乳蛋白率 Milk protein percentage/%	3.33±0.11	3.12	3.62

表 5　TMR 养分实测值变异系数（%,X）与产奶量(kg/d)或乳脂率(%)(Y)的多元线性回归模型参数

Table 5　Parameters of multiple linear regression models between CV of measured values of TMR nutrients (%,X) and milk yield (kg/d) or milk fat percentage (%)(Y)

项目 Items	产奶量 Milk yield	乳脂率 Milk fat percentage

	回归系数 Regression coefficient	SE	*P* 值 *P*-value	回归系数 Regression coefficient	SE	*P* 值 *P*-value
截距 Intercept	33.316	1.931	＜0.000 1	3.742	0.104	＜0.000 1
产奶净能变异系数 CV of NE_L	-3.662	0.853	0.002 6			
长颗粒变异系数 CV of long particles	-0.124	0.019	0.024 5	0.012	0.023	0.012 7
剩料率变异系数 CV of refusal rate	0.047	0.020	0.005 8			
瘤胃非降解蛋白质变异系数 CV of RUP				0.011	0.005	0.044 6
小肠可消化粗蛋白质变异系数 CV of DCPSI	-1.051	0.735	0.029 6			
能氮平衡变异系数 CV of RENB	-0.827	0.270	0.007 3			

2.2 搅拌均匀性

由表 6 可知，料槽不同位置采集的 TMR DM、ADF、P 的变异系数分别为（6.31±9.26）%、（6.05±8.03）%、（6.39±7.25）%，其他养分变异系数都小于 5%。

不同奶牛场的搅拌机类型、原料添加顺序、搅拌时间、配料人员的监控管理不同，TMR 制作质量不同，TMR 搅拌均匀性不同。由表 7 可知，立式搅拌机相比于卧式搅拌机，TMR 养分变异系数小。按照先干后湿，先粗后精的顺序添加原料相比于加料顺序不合理的奶牛场，TMR 养分变异系数小。随着搅拌时间的延长和配料人员监控水平的提高都会增加 TMR 养分搅拌均匀性。

表 6 TMR 养分变异系数

Table 6 Dietary nutrient variability in different locations %

项目 Items	变异系数 CV		
	平均值 Mean	最小值 Minimum	最大值 Maximum
干物质 DM	6.31±9.26	0.45	32.66
粗蛋白质 CP	2.05±1.83	0.21	6.70
中性洗涤纤维 NDF	3.19±1.87	0.68	7.03
酸性洗涤纤维 ADF	6.05±8.03	1.49	25.24
粗灰分 Ash	1.90±1.55	0.17	6.74
钙 Ca	4.51±4.34	0.76	17.15
磷 P	6.39±7.25	0.29	25.37
产奶净能 NE_L	2.44±2.40	0.32	7.61

表 7 搅拌机类型、饲喂顺序、搅拌时间和管理水平对养分变异系数的影响

Table 7 Effects of mixer type, feeding order, mixing time and management level on nutrient CV %

项目 Items	干物质 DM	粗蛋白质 CP	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF	粗灰分 Ash	钙 Ca	产奶净能 NE_L
搅拌机类型 Mixer type							
卧式 Horizontal type	6.44	2.04	2.65	5.38	1.86	2.04	4.29

立式 Upright type	2.83	1.41	3.92	2.99	1.76	1.42	1.70
饲喂顺序 Feeding order							
不合理 Unreasonable	6.96	2.22	2.99	8.92	2.18	4.63	3.43
合理 Reasonable	3.25	1.36	3.14	3.77	1.35	3.74	1.95
搅拌时间 Mixing time/min							
3~5	8.86	2.91	3.47	10.70	1.93	4.88	2.69
5~10	2.93	1.28	3.34	5.95	1.54	4.86	1.87
10~15	1.27	1.53	1.73	3.20	2.21	2.86	1.73
管理水平 Management level							
较差 Bad	10.78	3.38	2.88	9.44	2.53	6.48	3.46
一般 Normal	3.21	1.88	3.63	8.57	1.94	3.04	1.07
较好 Better	1.91	0.70	2.59	3.46	1.03	3.32	0.53

2.3 牛群颗粒挑食

由表 7 可知，TMR 投料（即 TMR 实测值）长颗粒比例（18.67%）和中颗粒比例（25.30%）小于剩料长颗粒比例（46.79%）和中颗粒比例（26.56%），TMR 投料短颗粒比例（33.34%）和细颗粒比例（22.68%）大于剩料短颗粒比例（16.43%）和细颗粒比例（10.22%）。剩料的 pef 和 peNDF 大于投料。30 个牛群对长颗粒、中颗粒、短颗粒、细颗粒的挑食率分别为（93.26±8.26）%、（99.54±0.79）%、（101.76±1.67）%、（102.42±2.64）%。不同牛群的挑食程度不同，长颗粒挑食范围为 72.66%~99.48%，细颗粒挑食范围为 100.27%~108.59%。

表 8　30 个牛群颗粒挑食

Table 8　The sorting of particles of 30 cow herds　　%

项目 Items	剩料 Refused ration	挑食率 Sorting rate*		
		平均值 Mean	最小值 Minimum	最大值 Maximum
干物质 DM	46.22±5.19			
长颗粒 Long particles	46.79±15.56	93.26±8.26	72.66	99.48
中颗粒 Medium particles	26.56±5.05	99.54±0.79	97.85	100.60
短颗粒 Short particles	16.43±6.25	101.76±1.67	100.31	105.44
细颗粒 Fine particles	10.22±6.57	102.42±2.64	100.27	108.59
物理有效系数 pef	73.35±12.31			
物理有效中性洗涤纤维 peNDF	39.72±9.69			

*100%为不挑食，＜100%为厌食挑食，>100%为喜食挑食。

*100% indicated no sorting, <100% indicated sorting against, and >100% indicated preferential sorting consumption。

3 讨　论

3.1 投料控制

本试验尽管在 TMR 的配制过程中耗费了大量的时间和精力，但是 TMR 实测值与配方目标值之间依然存在差距。Colmenero 等[8]报道，饲粮 CP 含量与产奶量和乳蛋白产量为正二次关系。本试验 30 个牛群，其中 6 个牛群的饲粮 CP 含量低于配方目标至少 1 个百分点，可以预见，饲粮 CP 含量存在较大误差的牛群，其产奶量和乳蛋白产量会相应降低。Sinclair 等[9]报道，瘤胃中碳水化合物与蛋白质消化速度同步的饲粮，其 MCP 产量和合成效率要高于碳水化合物与蛋白质消化速度不同步的饲粮。本试验中 TMR 的 RENB 与配方目标值之间差距很大，这会影响奶牛饲料瘤胃降解率及生产性能。通过对 30 个牛群的 TMR 指标测定发现，TMR 实测值和配方目标值之间的差距广泛存在，这种差距会影响牛群的产奶性能。

本试验中，我们将 TMR 实测值和配方目标值之间的差距程度称之为准确性；TMR 指标各天之间的稳定程度称之为精确性。研究结果表明，国内 TMR 饲喂过程中准确性不高，精确性不足。本试验结果与国外的研究报道相似，Silva-del-Rio 等[10]对美国加利福尼亚地区多家牛场评估发现，饲粮养分和配方之间差异较大（变异系数>5%）。粗饲料养分和 DM 含量的变化常会引起不同批次 TMR 养分变化，Buckmaster 等[11]报道这种养分的变化会影响牛群的产奶性能。McBeth 等[5]也认为，尽管奶牛会很快适应 TMR 养分的批次变化，但是饲粮 DM 短期的变化依然会对产奶量和乳成分产生不利影响。TMR 饲喂不准确、不精确的主要原因包括：操作失误、设备故障、原料添加量不准确、饲料养分变化。国内大多数奶牛场对粗饲料疏于管理，未能定期监测青贮等粗饲料的 DM 含量，导致 TMR 饲喂不准确、不精确问题更加突出。

理论上，TMR 可以为奶牛提供均衡的营养，但是正如本试验和前人的研究结果显示，TMR 加工质量存在不稳定问题，这会影响牛群的产奶性能[11]，并导致奶牛消化和代谢疾病发病率升高[12]。本试验结果与 Sova 等[4]报道相似，牛群产奶量与剩料率、长颗粒、NE_L、DCPSI、RENB 的变异有关。Coppock 等[1]指出保持瘤胃内环境的稳定性，能够提高养分的转化效率。本试验结果显示乳成分受颗粒分布变化的影响，证实了 Coppock 等[1]的论断。饲料原料 DM 和其他养分含量变化不可避免[13]，因此我们应该采取措施降低其导致的 TMR 养分变异。TMR 操作员的管理教育、饲料原料的定期监测、饲粮配方的定期调整，都可以有效降低饲粮养分的批次变化[2]，进而提高牛群采食量和产奶量。

3.2 搅拌均匀性

TMR 的技术特点是能够保证饲料营养的均衡采食[14-15]，均匀的饲粮能够降低牛群内部养分采食的差异，有助于牛群最大产奶潜力的发挥。本试验中，料槽不同位置养分的变异系数较小，主要原因是 TMR 搅拌车均是一次性混合多个牛群的饲粮，一个牛群料槽不同位置养分变异系数不能代表整车 TMR 的均匀性。虽然本试验中料槽不同位置的养分变异系数较小，但仍表明 TMR 搅拌不均匀，粗饲料和精饲料没有均匀的混合在一起。TMR 混合不均匀会产生多种不利影响，第一，加大奶牛的挑食行为，奶牛容易因采食过多精饲料而发生瘤胃酸中毒；第二，奶牛 DMI 的变动较大，导致奶牛产奶量出现波动，引发乳脂率降低以及跛足的发生。本试验结果表明，立式搅拌机搅拌均匀性比卧式搅拌机好，合理的原料添加顺序、搅拌时间、配料人员的监控管理能够提高 TMR 搅拌均匀性。

3.3　牛群颗粒挑食

Sova 等[4]对加拿大 22 家牛场的研究报道，牛群对长颗粒和细颗粒的挑食率分别为 97%和 101%。本试验 30 个牛群，对长颗粒和细颗粒的挑食分别为 93.26%和 102.42%，本试验挑食问题更严重。先前报道，饲粮 DM 含量和剩料率高会加重牛群挑食[16-18]，因此本试验结果挑食更严重，可能是由于采样牛群饲粮 DM 含量（48.72%）和剩料率（4.08%）比 Sova 等[4]的试验中 DM 含量（48%）和剩料率（3.5%）高。国内奶牛场普遍存在 TMR 饲喂频率低，单次饲喂量大；投料后推料次数少，甚至不推料等问题，饲喂管理不当是导致国内牛场奶牛挑食严重的重要原因。奶牛倾向于挑食短颗粒和细颗粒，排斥较长的颗粒，这会导致瘤胃 pH 降低而引起瘤胃酸中毒[19]；挑食还导致剩下的饲料成分发生了变化，如果某些奶牛在饲喂的第一时间没有吃到饲料，那么剩下的缺乏谷物成分的 TMR 就不能为其提供充足的养分，这些奶牛因未摄入足够的营养不能保证较高的产奶量，会严重影响牛群的生产性能。

4　结　论

① 30 个牛群饲喂 TMR 测定结果显示，泌乳奶牛摄入养分因投料不准确、加工质量不稳定、搅拌不均匀、挑食等与配方养分产生差异。

② TMR 加工质量稳定性影响到产奶量和乳成分，其中 NE_L、DCPSI、RENB 变异影响产奶量，长颗粒变异影响产奶量和乳脂率。

③ 为改善牛群的生产性能，奶牛场应定期进行饲料原料分析、提高配料的准确性和精确性、严格监控原料添加顺序和搅拌时间、加强配料工人的管理教育。

参考文献：

[1] COPPOCK C E,BATH D L,HARRIS B,Jr.From feeding to feeding systems[J].Journal of Dairy Science,1981,64(6):1230–1249.

[2] STONE B.Reducing the variation between formulated and consumed rations[M]//BRITZ T J, ROBINSON R K.Advanced dairy science and technology.Oxford:Blackwell Publishing Ltd.,2008,20:145–162.

[3] LEONARDI C,ARMENTANO L E.Effect of quantity,quality,and length of alfalfa hay on selective consumption by dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2003,86(2):557–564.

[4] SOVA A D,LEBLANC S J,MCBRIDE B W,et al.Accuracy and precision of total mixed rations fed on commercial dairy farms[J].Journal of Dairy Science,2014,97(1):562–571.

[5] MCBETH L R,ST-PIERRE N R,SHOEMAKER D E,et al.Effects of transient changes in silage dry matter concentration on lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2013,96(6):3924–3935.

[6] MIKUS J H.Diet consistency:using TMR audits™ to deliver more from your feed,equipment,and people to the bottom line[C]//Proceedings of high plains dairy conference.Amarillo:Texas Animal Nutrition Council,2012:27–36.

[7] 冯仰廉,陆治年.奶牛营养需要和饲料成分[M].3 版.北京:中国农业出版社,2007:2–17.

[8] COLMENERO J J O,BRODERICK G A.Effect of dietary crude protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2006,89(5):1704–1712.

[9] SINCLAIR L A,GARNSWORTHY P C,NEWBOLD J R,et al.Effect of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release on rumen fermentation and microbial protein synthesis in sheep[J].Journal of Agricultural Science,1993,120(2):251–263.

[10] SILVA-DEL-RIO N,CASTILLO A R.Degree of agreement between the ration formulated and the ration fed on seven California dairies[J].Journal of Dairy Science,2012,95(Suppl.2):579–585.

[11] BUCKMASTER D R,MULLER L D.Uncertainty in nutritive measures of mixed livestock

rations[J].Journal of Dairy Science,1994,77(12):3716–3724.

[12] 张石蕊,易学武,贺喜,等.不同精粗比全混合日粮饲养技术对南方奶牛采食行为、产奶性能和血清游离氨基酸的影响[J].草业学报,2008,17(3):23–30.

[13] WEISS W P,ST-PIERRE N R.Impact and management of variability in feed and diet composition[C]//Proceedings of the 18th annual tri-state dairy nutrition conference.Fort Wayne,Indiana:Michigan State University,Purdue University,The Ohio State University,2009:83–96.

[14] 朱新民,王加启.TMR 饲喂工艺与技术规范[J].黑龙江畜牧兽医,2006(1):26–28.

[15] 李胜利,范学珊.奶牛饲料与全混合日粮饲养技术[M].北京:中国农业出版社,2011:1–2.

[16] FISH J A,DEVRIES T J.Short communication:varying dietary dry matter concentration through water addition:effect on nutrient intake and sorting of dairy cows in late lactation[J].Journal of Dairy Science,2012,95(2):850–855.

[17] LEONARDI C,ARMENTANO L E.Short communication:feed selection by dairy cows fed individually in a tie-stall or as a group in a free-stall barn[J].Journal of Dairy Science,2007,90(5):2386–2389.

[18] MILLER-CUSHON E K,DEVRIES T J.Feeding amount affects the sorting behavior of lactating dairy cows[J].Canadian Journal of Animal Science,2010,90(1):1–7.

[19] MAEKAWA M,BEAUCHEMIN K A,CHRISTENSEN D A.Effect of concentrate level and feeding management on chewing activities,saliva production,and ruminal pH of lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2002,85(5):1165–1175.

Deviation of Nutrient Intake of Lactating Cow Herds Fed Total Mixed Ration: Reason Analysis and Effects on Production Performance

LI Jiwei LIN Xueyan WANG Yun HU Zhiyong LIU Guimei WU Zhiqiang WANG Zhonghua*

（*College of Animal Science and Technology*, *Shandong Agricultural University, Tai'an* 271018, *China*）

*Corresponding author, professor, E-mail: zhwang@sdau.edu.cn

（责任编辑 王智航）

Abstract： This experiment analyzed the reason for deviation of nutrient intake of lactating cow herds fed total mixed ration (TMR) and the effects on production performance. Thirty cow herds with high milk yield were chosen and sampled for 5 days per herd. TMR and refusal feed samples were collected to assess nutrient composition and particle size distribution, and the coefficients of variation (CVs) of indexes were calculated. Milk yield was recorded, and milk sample was detected for milk composition. A multiple linear regression analysis between CVs of nutrients/particle sizes and production performance of cow herds was carried out. The results showed as follows: net energy for lactation (NE_L) and the contents of crude protein (CP), NDF、ADF, microbial protein (MCP), ruminal undegradable protein (RUP), ruminal balance of energy and nitrogen (RENB), small intestinal digestible protein (DCPSI) and calcium (Ca) of TMR for 30 cow herds were 6.56MJ/kg, 16.22%, 35.71%, 21.38%, 77.84g/kg, 92.15g/kg, 14.77g/kg, 104.04 g/kg and 1.43% respectively, among which NDF (1.94%), Ca (0.57%), RUP （5.03g/kg） and RENB（6.95g/kg）were higher than formula target values, and CP (-0.36%), ADF (-1.54%), NE_L (-0.12MJ/kg), MCP (-7.71g/kg) and DCPSI (-2.12g/kg) were lower than formula target values (positive value indicate increase, and negative value indicate decrease). During the observation period, CVs of RUP [（16.26±7.10）%], MCP [(22.78±13.38)%], RENB [(64.29±34.29)%] were more than 10%, and those of the other nutrients were less than 10%. CVs of long, medium, short and fine particles were (15.78±9.25)%, (9.12±7.86)%, (6.00±4.00)% and (11.15±9.62)%, respectively. The regression analysis showed that variation of TMR nutrients and particle sizes affected milk yield and milk composition. Every 1-percentage-point increase in CV of NE_L resulted in decreasing of 3.662 kg/d for milk yield. Every 1-percentage-point increase in CV of long particles resulted in decreasing of 0.124 kg/d for milk yield and increasing of 0.012% for milk fat percentage. The results indicate that the reason for difference between TMR nutrient intakes of lactating cows and formula nutrients lies in inaccurate feeding, unstable processing quality, mixing uniformity, and feed sorting. The stability of TMR processing quality can affect milk yield and milk composition, among which the variation of NE_L, DCPSI and RENB affects milk yield, and that of long particles influences both milk yield and milk fat percentage.

Key words: total mixed ration; deviation of nutrient intake; feed sorting; mixing uniformity; production performance